



**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING
AND INFORMATION SCIENCE**



**INFORMATION TECHNOLOGY AND
ELECTRICAL ENGINEERING -
DEVICES AND SYSTEMS,
MATERIALS AND TECHNOLOGIES
FOR THE FUTURE**

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=12391>

Impressum

Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff

Redaktion: Referat Marketing und Studentische
Angelegenheiten
Andrea Schneider

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik
Susanne Jakob
Dipl.-Ing. Helge Drumm

Redaktionsschluss: 07. Juli 2006

Technische Realisierung (CD-Rom-Ausgabe):
Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau
Dipl.-Ing. Christian Weigel
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
Dipl.-Ing. Helge Drumm

Technische Realisierung (Online-Ausgabe):
Universitätsbibliothek Ilmenau
[ilmedia](#)
Postfach 10 05 65
98684 Ilmenau

Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.
Werner-von-Siemens-Str. 16
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2006

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung der Redaktion strafbar.

ISBN (Druckausgabe): 3-938843-15-2
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-938843-16-0

Startseite / Index:
<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=12391>

O. Mukha / Y. Hnatyshyn

Mathematisches Modell des anaerobischen Prozesses mit Hilfe einer Computersimulation

6.5 Elektrische Energiesysteme

Die Biogastechnologie ist inzwischen weltweit verbreitet, weil sie unterschiedliche Probleme lösen kann, z. B. Brennstoffprobleme durch die Herstellung von Biogas, Agro-ökonomieprobleme durch Bereitstellung von Düngemitteln hoher Qualität, Ökologieprobleme durch Verminderung von negativen Einflüssen der Zerlegung von organischen Abfällen auf die Umwelt, Sozialprobleme durch Schaffung neuer Arbeitsplätze.

Die anaerobische Verarbeitung der Biomasse ist ein komplizierter biochemischer Prozess, weil mehrere Mikroorganismengruppen an ihm beteiligt sind. Je höher die Zahl der wirkenden Mikroorganismen, desto höher ist die Kapazität des Methantanks. Die Begrenzung der Vermehrung von Mikroorganismen ist mit Zerlegung der Festsäuren verbunden. Die Letzten beeinflussen negativ die Effektivität der Synthese von Methan. Es ist bekannt, dass die fermentativen Bakterien sich schneller als die azetonogene oder methanogene Bakterien vermehren [2]. Man kann mit der Hilfe verschiedener Instrumente die Mengen von Mikroorganismen beeinflussen, wie z.B. 1) Temperatur und pH Konzentration; 2) Reaktivität; 3) den chemischen Inhalt und die Teilchengröße der Biomasse; 4) mit der Zeit der Fermentation; 5) mit der Art und Effektivität der Vermischung von Biomasse; 6) den Druck der Gase im Methantank; 7) Geschwindigkeit der Einladung und Entladung des Tanks. Es ist viel günstiger die anaerobischen Prozesse der Fermentation von Biomasse mit der Hilfe des entsprechenden mathematischen Modells zu erforschen und zu optimieren

Das Mathematische Modell des anaerobischen Prozesses

Um den Einfluss von verschiedenen Parametern auf den anaerobischen Prozess festzustellen, wird ein mathematisches Modell vorgeschlagen [1, 2]. Laut den Werken [1, 2] wurde die Dynamik des anaerobischen Prozesses in Biomasse durch folgendes

System der Gleichungen dargestellt:

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\tau} = k(a-x) \cdot N(\tau) \\ \frac{dN}{d\tau} = cN(\tau) - bN(\tau)R \\ \frac{dR}{d\tau} = eN(\tau) \\ V_{GA3} = \alpha \cdot x \end{cases} \quad (1)$$

wo a - ist die Menge des organischen Stoffes am Anfang des Prozesses ; x - ist die Menge des zerlegten Stoffes; $N(\tau)$ - ist die Menge der aktiven Bakterien in organischer Masse; $R(\tau)$ – ist die Funktion des Giftes, das im Prozess des Wachstums von Mikroorganismen entsteht; b, e, α, k, c – sind die konstanten Koeffizienten, die von Parametern der Umgebung und des anaerobischen Prozesses abhängen; τ – ist die Zeit des Prozesslaufes; V_{GA3} – ist der Volumenstrom vom Biogas.

Das System von Differentialgleichungen (1) wurde mit Hilfe der Fourier-Methode gelöst.

$$N(\tau) = \frac{\left(2 \frac{N_{\max}}{N_0} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_{\max}}} \right] - 1 \right) \cdot 4N_{\max} \cdot \exp(2eN_{\max} \cdot \tau)}{\left[1 + \left\{ 2 \frac{N_{\max}}{N_0} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_{\max}}} \right) - 1 \right\} \exp(2 \cdot e \cdot N_{\max} \cdot \tau) \right]^2} \quad (2)$$

wo $N_{\max} = \frac{C}{2b \cdot e}$ – ist die maximale mögliche Anzahl der Mikroorganismen im

Methantank; N_0 – ist die Anzahl der Mikroorganismen am Anfang des Prozesses.

Nach der Lösung der ersten Gleichung des Systems (1), unter Berücksichtigung des Ausdrucks (5) und der Anfangsbedingungen wurde die Abhängigkeit der Menge des Biogases im Prozess der anaerobischen Fermentation der organischen Masse folgenderweise dargestellt:

$$V_{GA3} = \alpha \cdot a \left\{ 1 - \frac{\left[1 + \left(2 \frac{N_{\max}}{N_0} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_{\max}}} \right] - 1 \right) \cdot \exp(2 \cdot e \cdot N_{\max} \cdot \tau) \right]^{-4 \cdot k \cdot N_{\max}}}{2 \frac{N_{\max}}{N_0} \left[1 + \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_{\max}}} \right]} \cdot \exp \left[\frac{2k \cdot N_{\max}}{\frac{N_{\max}}{N_0} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_{\max}}} \right)} - \frac{4k \cdot N_{\max}}{1 + \left[2 \frac{N_{\max}}{N_0} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_{\max}}} \right) - 1 \right] \cdot \exp(2 \cdot e \cdot N_{\max} \cdot \tau)} \right] \right\} \quad (3)$$

Die Ausdrücke (2) und (3) helfen uns die Arbeit des Methantanks in Fällen der gleichzeitigen oder teilweisen Wirkung der genannten Faktoren auf anaerobischen Prozesse numerisch zu bewerten. Damit wird die Ergänzung der Gleichungen (5) und (6) mit experimentellen Abhängigkeiten k , C , b , e und α mathematisches Modells von Temperatur, Geschwindigkeit der Biomasse im Methantank, Druck erreicht.

Zur Feststellung des Temperatureinflusses auf den anaerobischen Prozess (Geschwindigkeit des Wachstums von Methanmikroorganismen) wurde folgende Gleichung benutzt

$$\frac{dN}{d\tau} = 0,013 \cdot T - 0,129 \quad (4)$$

Zum System der Gleichungen (1) wird die folgende Gleichung hier eingefügt:

$$\frac{A \cdot \exp(c \cdot \tau_0) [A \cdot \exp(c \tau_0) + 1]}{[A \cdot \exp(c \cdot \tau_0) - 1]^3} = 0,013T - 0,129 \quad (5)$$

Mit der Anwendung der mathematischen Transformationen und numerischen Lösungsmethoden wurde Ausgang vom Biogas in Abhängigkeit von der Temperatur und $c(T)$ festgestellt.

$$N = -4N_{\max} \frac{\left(1 - 2\beta \frac{N_{\max}}{N_0}\right) \exp\{0,00025 \cdot T - 0,0026\tau\}}{\left\{\left[1 - 2\beta \frac{N_{\max}}{N_0}\right] \exp\{0,00025 \cdot T - 0,0026\tau\} - 1\right\}^2} \quad (6)$$

$$x = a \left\{ 1 - \exp \left[-2k \frac{N_{\max}}{0,00025 \cdot T - 0,0026} \cdot \left(\frac{N_0}{\beta \cdot N_{\max}} + \frac{1}{\left[1 - 2\beta \frac{N_{\max}}{N_0}\right] \exp(0,00025 \cdot T - 0,0026)\tau - 1} \right) \right] \right\}$$

$$V_{\text{газ}} = \alpha \cdot x. \quad (7)$$

Zur Feststellung des Einflusses vom Druck und des Inhaltes der Biomasse sind folgende zwei Abhängigkeiten vorgeschlagen:

$$P = \exp\left(\frac{23,6t + 1514}{236 + t}\right) \quad i \quad (8)$$

$$a = 0,92g_1 + 0,62g_2 + 0,34g_3 \quad (9)$$

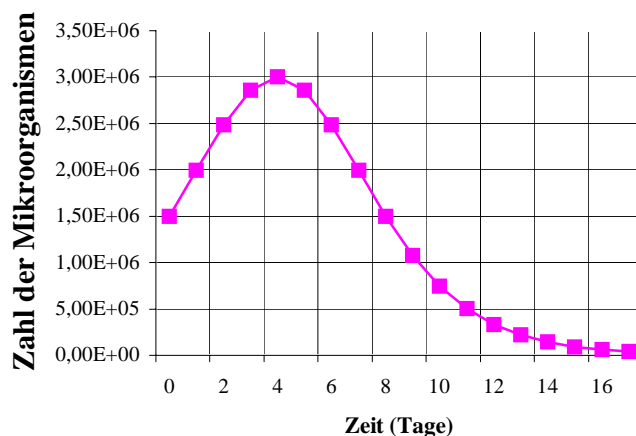
Resultate der Forschungen.

Die Haupttendenzen des Laufes vom anaerobischen Prozess und der Vermehrung von Mikrobenzellen sind auf Zeichnungen 1 und 2 als Resultate des numerischen Experimentes dargestellt. Folgende Charakteristiken der organischen Abfälle sind genommen worden: $c = -0,44$ (l/Tag); $\kappa = 0,0000002$ (kg/Stück Tag⁻¹); $N_{\max} = 3 \cdot 10^6$ St.; $N_0 = 1,5 \cdot 10^6$ St. Die Analyse der Resultate deutet auf steigerndes Wachstum der Zahl von Mikroorganismen mit dem steigernden Wachstum der Zeit. Zum Zeitpunkt $\tau=4$ Tage die Zahl der Mikroorganismen erreicht ihr Maximum $3 \cdot 10^6$ St. Mit weiterem Steigern von τ strebt die Zahl der Mikrobenzellen asymptotisch zum Null. Solches Verhalten der Funktion $N(\tau)$ wird dadurch erklärt, dass im Zeitbereich von 0 bis 4 Tage wurden die Vermehrungsprozessen der Mikroorganismen schneller als die Prozesse der Selbstvernichtung laufen.

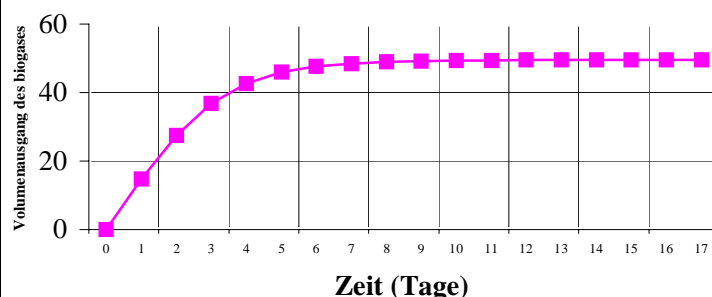
Die Zeichnung auf dem Bild 2 und dritte Gleichung von Gleichungssystem (1) zeigen, dass mit dem Wachstum der Zeitlaufens des anaerobischen Prozesses die Volumenmenge vom Biogas auch wächst. Am Ende des Prozesses wurde die Senkung

vom Volumenausgang beobachtet.

Das vorgeschlagene System von Gleichungen erlaubt den anaerobischen Prozess im Temperaturabschnitt von 0° bis 60° C zu vergleichen. Dieses Modell erlaubt den Einfluss der Temperatur auf allgemeine Effektivität von BEV mit der Hilfe auf Borland Pascal geschriebenen Programm zu analysieren. Die notwendigen Ausgangsdaten sind am Anfang des Programms darzustellen. Dazu gehören: technische Charakteristiken von Biogenerator, Wärmeisolierung, Wärmeaustausches, die klimatologische Daten; Charakteristiken der Biomasse mit der der Reaktor geladen wird. Dazu soll man folgendes im Bereich der Wärme und Hydraulik berechnen: Wärmeverluste im Volumen des Bioreaktors durch die Kühlung des Reaktors mit Umweltluft, die Wärme für Erhitzung der Biomasse zur technologischen Temperatur, notwendige technologische Wärmekapazität, Wärmeverlust, hydraulische Berechnungen.



Zeichnung1. Dynamik der Vermehrung von Mikrobezellen in organischen Biomasse



Zeichnung 2. Abhängigkeit des Volumenausganges des Biogases von der Zeit des Laufes des anaerobischen Prozesses

Zusammenfassung.

Das vorgeschlagene Modell stellt adäquat den Lauf des anaerobischen Prozesses dar und ermöglicht den Volumenausgang des Biogases in Abhängigkeit von Temperatur und Druck festzustellen.

Authors:

1. Orest Mukha

2. Yaroslav Hnatyshyn

Lwiwer Informationszentrum für Wissenschaft, Technik und Wirtschaft., V.
Chornovola, 57,
79058, Lwiw, Ukraine
Tel: +380 322 52 30 23
Fax: +380 322 52 27 41
E-mail: muha@cstei.lviv.ua